



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104993629 B

(45)授权公告日 2018.03.02

(21)申请号 201510363840.9

审查员 周飞

(22)申请日 2015.06.29

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104993629 A

(43)申请公布日 2015.10.21

(73)专利权人 合肥工业大学

地址 230009 安徽省合肥市屯溪路193号

(72)发明人 阚超豪 朱晓威 张家午

(74)专利代理机构 合肥天明专利事务所(普通合伙) 34115

代理人 金凯

(51) Int. Cl.

H02K 3/28(2006.01)

H02K 3/12(2006.01)

权利要求书1页 说明书4页 附图5页

(54)发明名称

一种绕线式直线无刷双馈发电机

(57)摘要

本发明所述的一种绕线式直线无刷双馈发电机,依据单元电机概念,提出定子功率绕组、控制绕组的总极对数为N倍的单元电机,同时依据齿谐波原理,提出动子绕组采用类正弦规律对称分布,减少了功率绕组P1以及控制绕组P2不同相的线圈,动子绕组可很好地实现控制绕组和控制绕组的耦合,且气隙密谐波含量较低,本发明可把运动速度较低的磁场调制为高速磁场,有效地提高了电机功率密度,控制绕组放在定子侧,取消了滑环、电刷,电机的故障率低、使用寿命长,通过调整动子线圈跨距、匝数,以期最大程度的消除动子磁动势的高次谐波,同时实现动子绕组对P1、P2对极具有较高绕组系数,进而实现了直线无刷双馈发电机的高效、节能。



1. 一种绕线式直线无刷双馈发电机,包括定子和动子,所述动子由产生极对数分别为 $P_1$ 和 $P_2$ 的一套绕组组成,其每组包括 $K$ 个相邻的动子线圈,其特征在于:所述定子上分布有相互独立的极对数为 $P_3$ 的功率绕组和极对数为 $P_4$ 的控制绕组,则 $P_3$ 和 $P_4$ 满足关系式 $P_3=NP_2/mk$ , $P_4=NP_1/mk$ 其中, $mk$ 为 $P_1$ 和 $P_2$ 的最大公约数, $N$ 为自然数,且 $N \geq (mk+1)$ ;所述动子线圈分布在槽数为 $Z_r$ 的范围内,则 $Z_r$ 满足关系式: $Z_r=Z_d+Z_d/(P_1+P_2)$ 其中, $Z_d$ 为定子功率绕组对应的动子长度范围的动子槽数, $Z_d$ 满足 $Z_d=n(P_1+P_2)$ , $n$ 为正整数,且 $n \geq K$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种绕线式直线无刷双馈发电机,其特征在于:所述 $K$ 个相邻的动子线圈按槽号顺序依次串联后自短路联接。

3. 根据权利要求1或2所述的一种绕线式直线无刷双馈发电机,其特征在于:所述 $K$ 个相邻的动子线圈采用正弦分布,其前一个动子槽号组的动子线圈的下层边与后一个动子槽号组的动子线圈的上层边分布在同一个动子槽中。

4. 根据权利要求1所述的一种绕线式直线无刷双馈发电机,其特征在于:所述动子线圈的匝数按照正弦规律对称分布。

5. 根据权利要求1所述的一种绕线式直线无刷双馈发电机,其特征在于:所述动子绕组的第一组动子线圈的上层边与最后一组动子线圈的下层边分别处于定子功率绕组和控制绕组磁场位置,且该磁场的大小相等、分布相同。

## 一种绕线式直线无刷双馈发电机

### 技术领域

[0001] 本发明属于电机技术领域,尤其涉及一种绕线式直线无刷双馈发电机。

### 背景技术

[0002] 在海浪等直线变速发电领域,可以采用传统的旋转电机发电,但这一技术也存在着不足之处:在低速时效率低、耐久性差,成为制约波浪发电的重要因素。近年来,有学者提出采用直线电机直接利用波浪的上下垂直运动作为原动力,驱动电机动子直线运动产生电能,可使整个系统效率提高。

[0003] 目前,有关直线海浪发电机的研究主要集中在永磁直线同步发电机方面。但是,受海浪运动速度慢的影响,电机磁极运动速度低,同等电机体积下,电枢绕组输出的功率小,导致电机功率密度低。同时,该电机也存在着由于永磁体的磁场不可调节,也无法灭磁,只能调节电枢输出,而电枢输出功率大,故可靠性差;高速铁损(涡流损耗、磁滞损耗)大;因振动、热以及定子短路永磁体去磁、失磁导致发电不足、不发电等不足。

### 发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题是提供一种绕线式直线无刷双馈发电机,该发电机能够有效提高发电机在低速时的工作效率、同时解决了耐久性差及可靠性差的问题。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明采用以下技术方案:包括定子和动子,所述动子由产生极对数分别为 $P_1$ 和 $P_2$ 的一套绕组组成,其每组包括 $K$ 个相邻的动子线圈,其特征在于:所述定子上分布有相互独立的极对数为 $P_3$ 的功率绕组和极对数为 $P_4$ 的控制绕组,则 $P_3$ 和 $P_4$ 满足关系式 $P_3=NP_2/m_k$ , $P_4=NP_1/m_k$ 其中, $m_k$ 为 $P_1$ 和 $P_2$ 的最大公约数, $N$ 为自然数,且 $N \geq (m_k+1)$ ;所述动子线圈分布在槽数为 $Z_r$ 的范围内,则 $Z_r$ 满足关系式: $Z_r=Z_d+Z_d/(P_1+P_2)$ 其中, $Z_d$ 为定子功率绕组对应的动子长度范围的动子槽数, $Z_d$ 满足 $Z_d=n(P_1+P_2)$ , $n$ 为正整数,且 $n \geq K$ 。

[0006] 所述 $K$ 个相邻的动子线圈按槽号顺序依次串联后自短路联接。

[0007] 所述 $K$ 个相邻的动子线圈采用正弦分布,其前一个动子槽号组的动子线圈的下层边与后一个动子槽号组的动子线圈的上层边分布在同一个动子槽中。

[0008] 所述动子槽号组中动子线圈的匝数按照正弦规律对称分布,即以线圈中轴线为对称轴两侧线圈的匝数按照介于 $P_1$ 对极正弦分布和 $P_2$ 对极正弦分布之间的绕组匝数的变化规律分布。

[0009] 所述动子绕组的第一组动子线圈的上层边与最后一组动子线圈的下层边分别处于定子功率绕组和控制绕组磁场位置,且该磁场的大小相等、分布相同。

[0010] 本发明的有益效果是:本发明的绕线式直线无刷双馈发电机,其依据单元电机概念,提出定子功率绕组、控制绕组的总极对数为 $N$ 倍的单元电机,同时依据齿谐波原理,提出动子绕组采用类正弦规律对称分布,减少了功率绕组 $P_3$ 以及控制绕组 $P_4$ 不同相的线圈,动子绕组可很好地实现控制绕组和控制绕组的耦合,且气隙密谐波含量较低。本发明直接把直线运动的动能直接转化为电能,无需中间环节;动子绕组起到磁场调制的作用,可把运动

速度较低的磁场调制为高速磁场,有效地提高了电机功率密度,控制绕组放在定子侧,取消了滑环、电刷,从而降低了电机的故障率,延长了电机的使用寿命。通过调整动子线圈跨距、匝数,以期最大程度的消除动子磁动势的高次谐波,同时实现动子绕组对P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>对极具有较高绕组系数,进而实现了直线无刷双馈发电机的高效、节能,具有较强的推广与应用价值。

### 附图说明

- [0011] 图1为在本发明Z<sub>d</sub>=6时动子槽号相位图及相位分布图;
- [0012] 图2为在本发明实施例中当Z<sub>d</sub>=6,P<sub>1</sub>=4,P<sub>2</sub>=2时,6组动子绕组接线图;
- [0013] 图3为在本发明实施例中当P<sub>1</sub>=4,P<sub>2</sub>=2定子长度为3倍P<sub>1</sub>对极长度时,定子两套绕组分布图;
- [0014] 图4为在本发明实施例中当P<sub>1</sub>=4,P<sub>2</sub>=2定子长度为2.5倍P<sub>1</sub>对极长度时,定子两套绕组分布图;
- [0015] 图5为在本发明实施例中当Z<sub>d</sub>=6,P<sub>1</sub>=4,P<sub>2</sub>=2时,定子两套绕组、动子绕组分布图;
- [0016] 图6为在本发明实施例中当Z<sub>d</sub>=42时,动子槽号相位图;
- [0017] 图7为在本发明实施例中当Z<sub>d</sub>=42,P<sub>1</sub>=4时,动子槽号相位图;
- [0018] 图8为在本发明实施例中当Z<sub>d</sub>=42,P<sub>1</sub>=4,P<sub>2</sub>=2时,6组动子绕组接线图;
- [0019] 图9为在本发明实施例中当Z<sub>d</sub>=42,P<sub>1</sub>=4,P<sub>2</sub>=2时,6组动子绕组分布图。

### 具体实施方式

[0020] 下面结合附图对本发明作进一步的描述。

[0021] 本发明所述的绕线式直线无刷双馈发电机,包括:一个定子、一个动子,定子铁芯上设置了两套独立的线圈绕组,功率绕组的极对数为NP<sub>1</sub>/m<sub>k</sub>,控制绕组的极对数为NP<sub>2</sub>/m<sub>k</sub>,其中,m<sub>k</sub>为P<sub>1</sub>和P<sub>2</sub>的最大公约数,N≥(m<sub>k</sub>+1);动子由(P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub>)组绕组构成,每组包含K个相邻的动子绕组线圈,每组中所有动子线圈串联后自短接,任意两组的动子绕组连接方式相同。(P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub>)组动子线圈分布在Z<sub>a</sub>+Z<sub>d</sub>/(P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub>)槽数范围内,其中Z<sub>d</sub>为定子功率绕组对应的动子长度范围的动子槽数,Z<sub>d</sub>满足Z<sub>d</sub>=n(P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub>),n为正整数,且n≥K。

[0022] 为了更好的消除动子磁动势的高次谐波,上述方案中,每个动子槽号组中所有K个相邻的动子线圈按槽号顺序依次串联后自短路联接,该K个相邻的动子线圈采用类正弦分布,即前一个动子槽号组的动子线圈的下层边和后一个动子槽号组的动子线圈的上层边分布在同一个动子槽中。对于(P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub>)组动子绕组,其第一组动子线圈的上层边与其最后一组动子线圈的下层边处于对称的定子功率绕组、控制绕组磁场位置,且该磁场大小相等、分布相同。所述动子槽号组中动子线圈的匝数按照类正弦规律对称分布,即以线圈中轴线为对称轴两侧线圈的匝数按照介于P<sub>1</sub>对极正弦分布和P<sub>2</sub>对极正弦分布之间的绕组匝数的变化规律分布。

[0023] 下面结合附图及具体实施例对本发明的应用原理作进一步描述。

[0024] 本发明实施例中选取一台功率绕组的极对数为P<sub>1</sub>=4的直线无刷双馈电机,选取控制绕组的极对数为P<sub>2</sub>=2,则转子槽数的最小值为P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub>=6。当取Z<sub>d</sub>=6时,P<sub>1</sub>=4、P<sub>2</sub>=2的动子槽号相位图、槽号相位分布图分别如图1(a)、1(b)、1(c)、1(d)所示。其中,图1(a)为在本发明实施例中当Z<sub>d</sub>=6,P<sub>2</sub>=2时的动子槽号相位图;图1(b)为在本发明实施例中当Z<sub>d</sub>=6,P<sub>2</sub>=2时的

动子槽号相位分布图;图1(c)为在本发明实施例中当 $Z_d=6, P_1=4$ 时的动子槽号相位图;图1(d)为在本发明实施例中当 $Z_d=6, P_1=4$ 时的动子槽号相位分布图。对比1(b)、1(d)两图可知:构成动子绕组构成的 $P_1、P_2$ 对极的旋转方向相反,符合无刷双馈电机的要求。6组绕组的具体连线方式如图2所示。与动子 $Z_d$ 个槽相对应的定子长度上,按照常规接线方式排布着 $P_1、P_2$ 对极,设 $m_k$ 为 $P_1$ 和 $P_2$ 的最大公约数,则定子功率绕组的极对数为 $NP_1/m_k$ ,相应的控制绕组的极对数为 $NP_2/m_k$ ,其中 $N \geq (m_k+1)$ 。图3、图4分别给出了 $m_k=2$ 时, $N$ 分别为 $N=6、N=5$ 时定子绕组分布方式。

[0025] 动子 $Z_d=6$ 时,动子绕组由6个独立的线圈组构成,每个线圈组由一个线圈构成。第一个动子槽内布置有线圈1的第一组单边,第七个动子槽内布置有线圈6的第二组单边,如图3所示。由于定子两套绕组均为周期性变化,不难知道,置放于第七个动子槽内的线圈边与置放于第一个动子槽内的线圈边所处的磁场完全相同。因此,动子6组绕组仍等效的置于定子 $P_1、P_2$ 对极磁场之下。

[0026] 然而这种动子采用 $Z_d=6$ 结构的动子绕组,其磁动势的齿谐波极数的绕组系数均等于基波绕组系数:0.8660。显然电机动子绕组的谐波磁动势过大,导致电机无法实际应用。为了克服这一缺点,通常通过增加动子槽数、采用分布式绕组来降低动子谐波磁动势。这里取 $n=7$ ,则 $Z_d=n(P_1+P_2)=7 \times (4+2)=42$ 。也就是每7个相邻的转子槽构成一个槽号组。与动子采用6个槽相类似,动子总槽数增加至 $Z_d+Z_d/(P_1+P_2)=49$ 个。同样也有动子6组绕组等效的置于定子 $P_1、P_2$ 对极磁场之下。为简化开槽工艺,增加槽数后,转子槽按沿转子气隙圆周均匀分布。

[0027] 增加槽数也会带来绕组分布系数降低,由图1可以看出7个连续相邻的槽号在4对极槽号相位图下的跨距为 $205.7^\circ$ 电角度,同理,不难证明7个连续相邻的槽号在2对极槽号相位图下的跨距为 $102.9^\circ$ 电角度。显然,与转子仅选择6个槽相比,转子绕组的分布系数和绕组系数都降低了。为了改善这一点,通常采用丢弃部分边缘槽号的方法。这里选择丢弃一个槽,即选择槽号组中的5个槽,此时5个连续相邻的槽号在2对极槽号相位图下的跨距为 $68.6^\circ$ 电角度,在4对极槽号相位图下的跨距为 $137.1^\circ$ 电角度。此时,第6、7个槽的线圈匝数为0,这样处理之后,绕组系数显著提高。

[0028] 图6为在本发明实施例中当 $Z_d=42, P_2=2$ 时,动子槽号相位图;图7为在本发明实施例中当 $Z_d=42, P_1=4$ 时,动子槽号相位图;图8为在本发明实施例中当 $Z_d=42, P_1=4, P_2=2$ 时,6组动子绕组接线图;图9为在本发明实施例中当 $Z_d=42, P_1=4, P_2=2$ 时,6组动子绕组分布图。

[0029] 本发明实施例提供的绕线式动子直线无刷双馈发电机,该绕线式动子直线无刷双馈发电机依据单元电机概念,提出定子功率绕组、控制绕组的总极对数为 $N$ 倍的单元电机,同时依据齿谐波原理,提出动子绕组采用类正弦规律对称分布,减少了功率绕组 $P_3$ 以及控制绕组 $P_4$ 不同相的线圈,动子绕组可很好地实现控制绕组和控制绕组的耦合,且气隙密谐波含量较低,本发明直接把直线运动的动能直接转化为电能,无需中间环节;动子绕组起到磁场调制的作用,可把运动速度较低的磁场调制为高速磁场,有效地提高了电机功率密度,控制绕组放在定子侧,取消了滑环、电刷,电机的故障率低、使用寿命长,通过调整动子线圈跨距、匝数,以期最大程度的消除动子磁动势的高次谐波,同时实现动子绕组对 $P_1、P_2$ 对极具有较高绕组系数,进而实现了直线无刷双馈发电机的高效、节能,具有较强的推广与应用价值。

[0030] 以上所述的实施例仅仅是对本发明的优选实施方式进行了描述,并非对本发明的范围进行限定,在不脱离本发明设计精神的前提下,本领域普通技术人员对本发明的技术方案作出的各种变形和改进,均应落入本发明权利要求书确定的保护范围内。

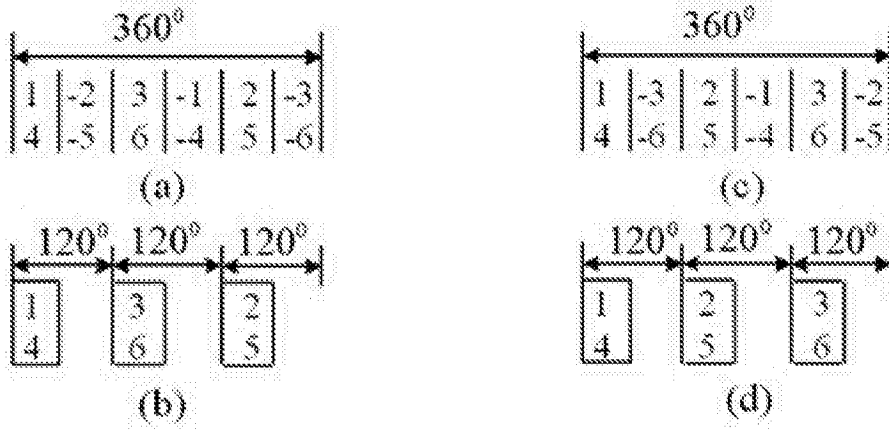


图1



图2

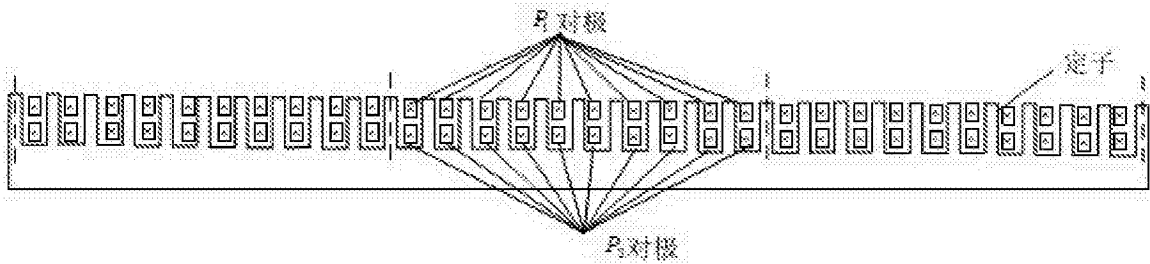


图3

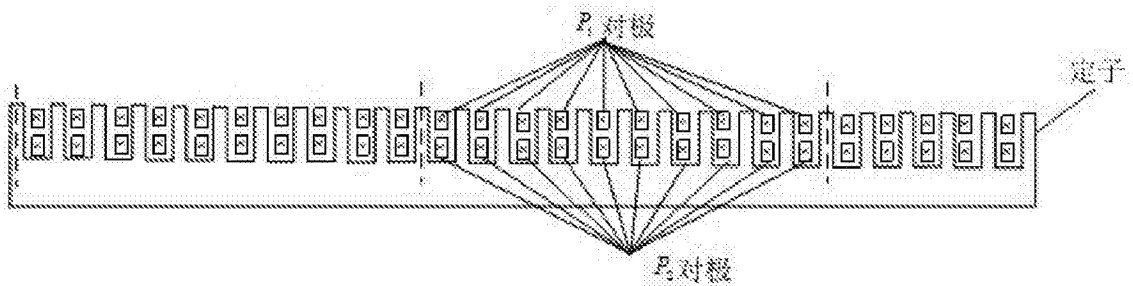


图4

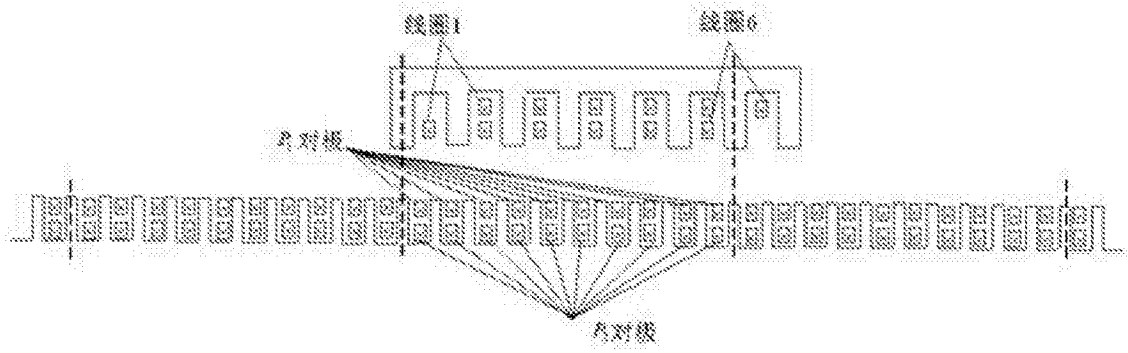


图5





图6



图7

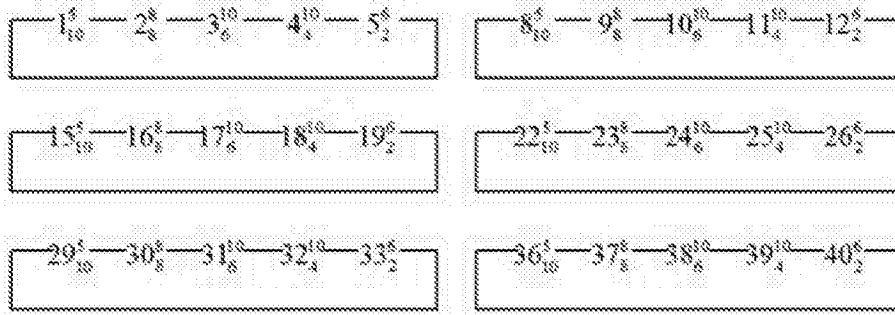


图8

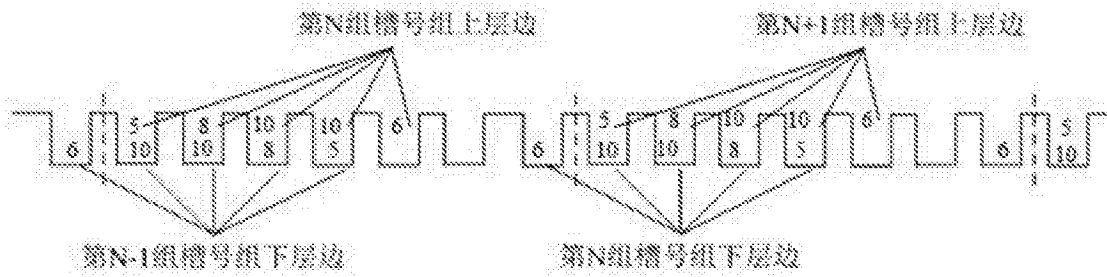


图9